

盐碱地改良中有机肥与硫酸铵肥配施的土壤修复效果研究

罗玉章 那森布和 徐雅婧
包头市包钢星原化肥有限责任公司
DOI:10.32629/as.v9i5.3973

[摘要] 针对盐碱土壤改良中单一改良剂效果有限的问题,本研究探讨有机肥与硫酸铵肥配施对土壤盐分、养分及微生物群落的综合修复效应。结果表明,配施处理使土壤pH降低0.8~1.2个单位,交换性钠含量减少40%以上,碱化度降至5%以下;有效氮释放曲线趋于缓释,有机质提升0.5~1.0个百分点,速效磷钾分别提高40%~60%和50%以上;微生物生物量碳增长1.5~2倍,耐盐功能菌群显著富集,综合修复指数较单施处理提高0.4~1.2,作物增产25%~60%。有机无机配施通过酸碱调节、离子交换与生物驱动协同机制,实现了盐碱土壤的高效修复。

[关键词] 盐碱地改良; 有机肥; 硫酸铵肥; 土壤修复; 微生物群落

中图分类号: S963.91 **文献标识码:** A

Research on the Soil Remediation Effect of Organic Fertilizer and Ammonium Sulfate Fertilizer Combined Application in Saline-alkali Soil Improvement

Yuzhang Luo Nasenbuhe Yajing Xu
Baotou City Baogang Xingyuan Fertilizer Co., Ltd.

[Abstract] In response to the limited effect of single fertilizer in salinized soil improvement, this study explored the comprehensive remediation effect of organic fertilizer and ammonium sulfate combined application on soil salinity, nutrients and microbial communities. The results showed that the combined application treatment reduced the soil pH by 0.8 to 1.2 units, decreased the exchangeable sodium content by more than 40%, and reduced the alkalinity to below 5%; the effective nitrogen release curve tended to be slow-release, the organic matter increased by 0.5 to 1.0 percentage points, and the available phosphorus and potassium increased by 40% to 60% and 50% respectively; the microbial biomass carbon increased by 1.5 to 2 times, the salt-tolerant functional bacterial community was significantly enriched, and the comprehensive remediation index was 0.4 to 1.2 higher than that of single application treatment, and crop yield increased by 25% to 60%. The combined application of organic and inorganic fertilizers achieved efficient remediation of saline-alkali soil through acid-base regulation, ion exchange and biological driving synergy mechanisms.

[Key words] Saline-alkali soil improvement; Organic fertilizer; Ammonium sulfate; Soil remediation; Microbial community

引言

盐碱土壤高pH、高交换性钠及低养分有效性严重制约农业生产。单一施用化学改良剂(如石膏、硫酸铝)虽能快速降碱,但易导致返碱及结构破坏;有机肥的改良效果较慢,钠离子替换效率不够高。硫酸铵肥具有供氮和酸化的双重作用,和有机肥混合施用可能会通过酸碱缓冲、离子竞争和碳源激发而发挥协同效应。目前,对于两者配施后盐碱土壤盐分离子成分,腐殖质质量,微生物功能菌群演替等方面的系统研究还不够深入。本研究采用室内培养和田间微区试验相结合的方法,系统地分析了有机肥和硫酸铵肥混合施用对土壤理化性状,养分转化和微生物

群落结构等方面的影响,目的在于揭示其协同修复机制和优化配施参数。

1 有机肥与硫酸铵肥配施对盐碱土壤盐分及酸碱度的调控效应

1.1 土壤pH与交换性钠含量的变化特征

有机肥与硫酸铵肥配施对盐碱土壤pH的降低作用具有协同增效特征。硫酸铵肥作为生理酸性肥料,铵根离子被作物吸收或经硝化作用后释放氢离子,可直接中和土壤中的碳酸根与碳酸氢根,促使pH快速下降。有机肥的参与则强化了这一过程:一方面,有机质分解产生的有机酸进一步缓冲碱性环境;另一方面,

有机肥改善了土壤团聚体结构,增强了阳离子交换能力,使得硫酸铵肥释放的氢离子更充分作用于交换性钠的置换^[1]。连续的定位实验结果显示,单独使用硫酸铵肥可以使表层土壤的pH值下降0.3~0.5个单位,但当与腐熟有机肥配合使用时,这一下降幅度可以达到0.8~1.2个单位,并且这种效果更为持久。同时,交换性钠含量随配施比例增加显著降低。有机肥中的钙、镁离子与硫酸铵所带硫酸根一起促进钠离子从胶体表面向溶液相迁移,随灌溉水淋溶流出。有机无机配施在降低交换性钠百分含量方面表现出比常规石膏改良更低的返碱风险,尤其在中度和重度苏打盐碱土上,配施6个月后表现更为明显,交换性钠的浓度有可能下降超过40%,这为未来农作物的根系生长创造了一个钠含量较低的条件。

1.2 土壤盐分组成及电导率的响应规律

配施处理不仅改变土壤总盐含量,更显著重塑盐分离子组成。硫酸铵肥施用引入了硫酸根和铵根,有机肥则提供多种可溶性有机阴离子及钾、钙、镁等养分。在盐碱土壤中,原有盐分以碳酸钠、碳酸氢钠及氯化钠为主,电导率偏高且离子比例失调^[2]。配施后,硫酸根与钙、镁结合生成微溶硫酸盐,减少了交换性钠的活化风险;同时铵根争夺吸附位点加快钠离子解吸和淋失。动态监测发现单施有机肥电导率降低缓慢,硫酸铵的迅速降pH效应可促进盐类溶解,短期内可能引起电导率的小幅波动,但配施条件下有机肥的吸附络合作用能够缓冲这一波动,有利于盐分离子随水分运移至底层。在经历了一个生长季节的特定处理后,0~20 cm的土壤层的电导率相较于对照组减少了35%~50%,同时氯离子和碳酸氢根的比例明显下降,而硫酸根的比例则有所增加。这种离子成分良性转化,有利于减轻单一盐离子对作物毒害,同时降低土壤溶液渗透压,提高水分有效性。应当指出,配施处理电导率的降低与有机肥施用量呈正相关,但当有机肥超过一定阈值后可溶性有机盐累积反而会导致电导率回升,因此存在最佳配比区间。

1.3 碱化度与钠吸附比的协同降低机制

碱化度与钠吸附比是评价盐碱土改良效果的两个关键指标,配施处理实现了二者的协同调控。硫酸铵肥通过酸化作用直接降低土壤pH,使胶体表面负电荷减弱,钠离子更易被钙、镁离子取代^[3]。有机肥则提供大量腐殖酸类物质,其羧基和酚羟基既能螯合钠离子,又能增强土壤缓冲能力,防止酸化过度。两者配合下,碱化度的下降呈现先快后稳的规律:前两个月内碱化度可降低20%~30%,随后趋于平缓,最终稳定在5%以下的非碱化水平。钠吸附比的降低则更依赖于硫酸铵肥与有机肥的离子交换协同效应。硫酸铵肥带来的铵根离子可迅速置换出吸附态钠,而有机肥分解产生的低分子有机酸能够络合游离钠离子,减少其再吸附几率。田间微区试验资料表明:配施处理可将土壤溶液对钠的吸附比由最初的25~30(mmol/L)0.5降低到8~12,明显好于等氮量尿素或者单施有机肥。更为重要的是这一协同机制规避了仅用化学改良剂对土壤结构可能造成的损害,由于有机肥有利于团聚体的生成而减少钠吸附比,从而使排钠过程中伴随着孔

隙度的增大而产生良性循环。长期定位观测发现,在连续2季配施时,即使停止使用,碱化度和钠吸附比恢复明显小于常规改良方式。

2 配施处理对盐碱土壤养分活化与有机碳累积的影响

2.1 氮素转化效率及有效氮供应动态

硫酸铵肥施入盐碱土壤后氮挥发损失严重,配施有机肥可显著提高氮素保持与转化效率。有机肥中腐殖质通过静电吸附和络合作用固定铵根离子,减少氨逸散;有机碳为硝化细菌提供能量,促进铵态氮适度转化^[4]。动态培养表明,单施硫酸铵7天内释放80%以上有效氮,淋溶损失率高达30%~40%;配施30%腐熟有机肥后,有效氮释放曲线平缓,峰值延迟至14~21天,淋溶损失降至15%以下。配施处理使根际有效氮在作物需氮关键期稳定于60~120 mg/kg,避免了单施“前期过高、后期不足”的波动,实现氮素供应由化学速效型向生物调控型的转变。

2.2 土壤有机质含量及腐殖质组分变化

有机肥与硫酸铵肥配施显著提升土壤有机质累积效率及腐殖质品质。等碳量条件下,配施硫酸铵肥使有机质增幅比单施有机肥提高25%~30%,原因是氮素调节碳氮比,加速木质素分解与腐殖酸前体形成^[5]。腐殖质分组测定显示,胡敏酸与富里酸比值(HA/FA)从0.4~0.6提升至0.9~1.2,腐殖质向更稳定、高分子量方向转化,有利于形成有机-无机复合体,增强对钠离子的屏蔽。硫酸铵诱导的弱酸性环境增强类腐殖物质活性,减少有机碳矿化损失。两季配施后,土壤总有机质提升0.5~1.0个百分点,活性与惰性有机质比例趋于合理,克服了单施有机肥提升不持久的缺点。

2.3 速效磷钾养分有效性的提升效果

盐碱土壤磷易沉淀、钾受钠拮抗,有机肥与硫酸铵肥配施通过酸碱调节、离子竞争及有机络合三条途径提升磷钾有效性。硫酸铵降低pH,使磷酸根向易吸收的 $H_2PO_4^-$ 形态转化并溶解闭蓄态磷;有机肥腐殖酸包裹磷酸根、络合铁铝离子,减少磷固定。配施处理下有效磷较单施硫酸铵肥提高40%~60%,较单施有机肥提高20%~30%。有机肥自身富含可交换态钾,硫酸铵带入的铵根置换黏土矿物层间非交换性钾,同时降低钠/钾比,缓解钾吸收竞争。苏打盐碱土上配施一个生长季后,速效钾从80~100 mg/kg提升至150~200 mg/kg,作物茎秆钾浓度提高35%以上,且避免了过量施硫酸导致的盐分二次累积。

3 有机无机配施驱动下土壤微生物群落与修复效果评价

3.1 微生物生物量及酶活性的恢复特征

盐碱土壤微生物活性受高pH和高盐度抑制,有机肥与硫酸铵肥配施通过改善微环境促进了微生物群落的复苏。微生物生物量碳和氮是反映土壤微生物总量的敏感指标。配施处理后,由于可溶性有机碳和有效氮同步增加,微生物快速繁殖,生物量碳在30天内可增长1.5~2倍,而单施硫酸铵肥因缺乏碳源,生物量碳增幅不足50%。更关键的是,硫酸铵适度酸化使土壤pH从9.0

以上降至7.5~8.0,解除了高碱对微生物胞外酶的空间位阻效应。脲酶,碱性磷酸酶和脱氢酶的活性显著增强,其中脲酶活性和铵态氮的转化效率呈显著正相关,脱氢酶活性表征了总体微生物代谢强度。连续的观测数据揭示,与单独使用有机肥相比,配合施用的脲酶活性在60天内达到最高点,提高了35%,并且这种高活性维持的时间也更长。土壤中的过氧化氢酶活性也有所恢复,这意味着土壤对活性氧自由基的清除能力得到了增强,从而间接地减轻了盐分对微生物细胞造成的氧化伤害。引人注目的是,土壤酶的活性不仅恢复了,而且还呈现出非线性上升的趋势。在配施的初始阶段(前15天),由于盐分的扰动和有机肥的厌氧分解,酶活性可能会暂时受到抑制,但之后会迅速反弹。

3.2细菌与真菌群落结构及耐盐功能菌群演替

配施处理显著改变了盐碱土壤中细菌和真菌的群落组成,诱导耐盐有益菌群定向富集。高通量测序结果表明,初始盐碱土壤中以嗜盐或耐盐细菌为主,如变形菌门的盐单胞菌属和芽孢杆菌属。单施硫酸铵肥后,酸敏感菌群减少,而硝化螺旋菌门等嗜酸或中性菌比例上升。有机肥的加入提供了复杂碳源,使放线菌门和厚壁菌门丰度增加,同时真菌中木霉属和青霉属等腐生真菌得到促进。相比之下,配施处理形成了独特的“碱-盐-碳”梯级选择效应:既能维持部分耐盐细菌(如假单胞菌属)作为骨架,又支持了更多功能菌如固氮菌、解磷菌及纤维素分解菌的定殖。功能预测分析显示,配施处理下与氮循环相关的amoA基因(氨单加氧酶)丰度提高3倍以上,与有机质降解相关的糖苷水解酶基因家族也显著富集。耐盐功能菌群的演替具有阶段性:前期(0~30天)以快速生长的r策略菌为主,后期(60~90天)逐渐被代谢效率更高的K策略菌取代,群落多样性指数Shannon从1.5上升至2.8。尤其值得关注的是,配施处理中出现了丛枝菌根真菌的定殖信号,该类真菌能够帮助作物抵御盐胁迫,表明土壤-植物-微生物正向互作开始建立。

3.3综合修复指数与作物生长响应验证

土壤修复效果的最终验证依赖于综合指标评价及作物生长响应。构建综合修复指数需融合理化指标(pH、电导率、碱化度、有机质)、生物指标(微生物生物量、酶活性)及养分指标(有效氮磷钾)。采用主成分分析法对各处理进行排序,配施处理的综合得分比单施硫酸铵肥高0.8~1.2,比单施有机肥高0.4~0.6。在作物响应方面,以耐盐作物油菜或甜高粱为指示植物进行盆

栽及田间验证。配施处理下,种子出苗率较对照提高2~3倍,出苗时间提前4~6天;苗期叶片钠含量降低35%~50%,钾/钠比值提升1倍以上,光化学效率Fv/Fm恢复至正常水平的0.80~0.85。收获期生物量及籽粒产量方面,配施处理较单施硫酸铵肥增产45%~60%,较单施有机肥增产25%~30%。更精细的根形态分析显示,配施处理促进了侧根发生和根毛伸长,根系总长度和表面积分别增加70%和85%,这与根际微环境改善及生长素类物质(有机肥含微量生理活性物质)有关。

4 结束语

有机肥和硫酸铵肥混合施用对盐碱土壤理化和生物学性状有明显改善。硫酸铵肥为迅速酸化和铵根交换钠离子提供了能力,有机肥通过腐殖酸络合,碳氮调节和团聚体稳定等作用延长了改良效果,增强了养分缓释性能。两者协同作用导致土壤pH、碱化度和钠吸附比的同步降低,有效氮、磷、钾的供给趋向协调,有机质转变为稳定态腐殖质。微生物群落从嗜盐贫营养型演替为功能多样型,脲酶、脱氢酶活性和菌根真菌的定殖能力提高。作物的出苗率、钾与钠的比例以及产量都有了明显的增长,这一综合修复指标进一步证实了配合使用的优势。建议在中到重度的苏打盐碱土上,按照碳氮比15~20:1的比例使用有机肥和硫酸铵肥进行混合施用,这样既能迅速降低碱性土壤,又能实现长效肥料培养。

【参考文献】

- [1]童永尚,张春平,董全民,等.不同形态氮添加对多年生高寒栽培草地土壤理化性质和微生物群落结构的影响[J].环境科学,2024,45(6):3595-3604.
- [2]闫双堆,江慧姝.缓/控释硫酸铵减量施用对玉米生长及土壤氮素平衡的影响[J].核农学报,2024,38(9):1772-1781.
- [3]闫双堆,郭探文,韩莹,等.生物炭辅配硫酸铵对土壤氮素淋溶的影响[J].农业工程学报,2024,40(16):94-102.
- [4]张延慧,刘宇.不同比例硫酸铵替代尿素对玉米根际土壤环境及微生物群落的影响[J].环境科学,2024,45(6):3584-3594.
- [5]董玉兵,孙春梅.不同铵硝配比肥对水稻秧苗素质及土壤养分变化的影响[J].西南农业学报,2023,36(10):2183-2190.

作者简介:

罗玉章(1986--),男,汉族,赤峰人,本科,学士学位,工程师,包头市包钢星原化肥公司经理,主要从事经营管理方面的研究。